Пересчет обмотки асинхронного двигателя при ремонте



В настоящем документе представлена только часть указанного издания, касающаяся практического пересчета обмоток асинхронных двигателей при ремонте.

Дьяков Василий Иванович

"Типовые расчеты по электрооборудованию" 1991 г.

Rev. 05   29 Jan 2022

ГЛАВА I. Асинхронные электродвигатели.
§ 1. Расчеты при перемотке обмотки статора на напряжения отличные от номинального.

При перемотке обмотки на новое напряжение при сохранении частоты вращения, плотности тока и мощности число эффективных проводников в пазу:

$$N_{\text{нов}} = N_{\text{ст}} \times \frac{U_{\text{нов}} \times a_{\text{нов}}}{U_{\text{ст}} \times a_{\text{ст}}}$$

где: $N_{\text{нов}}$ и $N_{\text{ст}}$ – новое и старое число эффективных проводников в пазу; $U_{\text{нов}}$ и $U_{\text{ст}}$ – новое и старое фазное напряжение, *в*; $a_{\text{нов}}$ и $a_{\text{ст}}$ – новое и старое число параллельных ветвей.

Когда число проводников в пазу большое (не менее 25), полученное значение $N_{\text{нов}}$ можно округлить до целого числа. При меньшем числе дробное значение можно превратить в целое (или близкое к нему) путем изменения числа параллельных ветвей новой обмотки.

Диаметр провода без изоляции при:

$$a_{\text{нов}} \times n_{\text{эл}_{\text{нов}}} = a_{\text{ст}} \times n_{\text{эл}_{\text{ст}}}$$

где: $n_{\text{элнов}}$ и $n_{\text{элст}}$ новое и старое число элементарных проводников, входящих в эффективный проводник, определяется по рис. 1. Например, при $U_{\text{ст}}$ = 220 *в* диаметр провода d = 1,2 *мм*. Проводя от найденной точки 1,2 *мм*. на вертикали 220 *в* горизонтальную линию, находим диаметры при других напряжениях: 1,57 *мм*. – при 127 *в*; 0,92 *мм*. – при 380 *в*. Полученные результаты округляют до ближайших значений диаметров. Диаметры проводов и толщину изоляции определяют по табл. 1, 2, 3.

Рис. 1. Диаграмма для определения диаметра провода без изоляции при $a_{\text{нов}} \times n_{\text{элнов}} = a_{\text{ст}} \times n_{\text{элст}}$

При $a_{\text{нов}} \times n_{\text{элнов}} \neq a_{\text{ст}} \times n_{\text{элст}}$ определенный по рис. 1 диаметр умножают на коэффициент kd (табл. 4), Например, по рис. 1 диаметр d = 1,2 *мм*. В старой обмотке $a_{\text{ст}} \times n_{\text{элст}}$ 2 × 2 = 4, в новой выбрано $a_{\text{нов}} \times n_{\text{элнов}}$ = 2 × 1 =2. На пересечении графы 4 и строки 2 (табл. 4) находим kd = 1,41. Новый диаметр $d_{\text{нов}}$ =1,2 × 1,41 = 1,68 *мм*.

Диаметр провода без изоляции зависит от размеров асинхронного двигателя и не должен превышать значений, приведенных в табл. 5. Диаметр изолированного провода должен быть меньше ширины шлица (прорези) паза на 1–1,5 *мм*. Проверка возможности размещения в пазу новой обмотки производится по формуле:

$$\frac{N_{\text{нов}} \times d^2_{\text{и}_{\text{нов}}} \times n_{\text{эл}_{\text{нов}}}}{N_{\text{ст}} \times d^2_{\text{и}_{\text{ст}}} \times n_{\text{эл}_{\text{ст}}}} < 1$$

где: $d_{\text{инов}}$ и $d_{\text{ист}}$ – диаметры провода с изоляцией новой и старой обмоток.

Пример 1. Электродвигатель с номинальным напряжением 127/220 *в* требуется перемотать для использования в сети напряжением 220/380 *в*. Число эффективных проводников в пазу 22, число параллельных ветвей $a_{\text{СТ}}$ = 2, число элементарных проводников $n_{\text{ЭЛСТ}}$ = 2, провод марки ПЭЛ, диаметр провода с изоляцией $d_{\text{ИСТ}}$ = 1,58 *мм*., диаметр элементарного проводника без изоляций $d_{\text{СТ}}$ = 1,5 *мм*.

Решение.

1. Новое число эффективных проводников в пазу равно:

$$N_{\text{НОВ}} = N_{\text{СТ}} \times \frac{U_{\text{НОВ}} \times a_{\text{НОВ}}}{U_{\text{СТ}} \times a_{\text{СТ}}} = 22 \times \frac{220 \times 2}{127 \times 2} = 38{,}1$$

Принимают $N_{\text{НОВ}}$ = 38.

2. Принимают в новой обмотке один элементарный проводник в эффективном проводе, т. е.: $n_{\text{ЭЛНОВ}}$ = 1.

3. Диаметр провода при напряжении 220 *в* $d_{\text{НОВ}} = d' \times k\text{d}$ = 1,14 × 1,41 = 1,6 мм, где d' = 1,14 *мм*. (по рис. 1 для U = 220 *в*). Из табл. 4, исходя из произведений $a_{\text{СТ}} \times n_{\text{ЭЛСТ}}$ = 2 × 2 = 4, получают $a_{\text{НОВ}} \times n_{\text{ЭЛНОВ}}$ =2 × 1 = 2, kd = 1,41. По таблице 1 выбирают новое стандартное сечение проводника $d_{\text{НОВ}}$ = 1,6 мм., и $d_{\text{ИНОВ}}$ = 1,665 *мм*.

4. Проверяют, разместятся ли 38 новых эффективных проводников в старых пазах:

$$\frac{N_{\text{НОВ}} \times d^2_{\text{И}_{\text{НОВ}}} \times n_{\text{ЭЛ}_{\text{НОВ}}}}{N_{\text{СТ}} \times d^2_{\text{И}_{\text{СТ}}} \times n_{\text{ЭЛ}_{\text{СТ}}}} = \frac{38 \times 1{,}662^2 \times 1}{22 \times 1.565^2 \times 2} = 0{,}997 < 1$$

Из расчета видно, что проводники новой обмотки поместятся в пазу.

§ 2. Расчет обмоток статора асинхронных двигателей, не имеющих паспортных данных.

В производственной практике для ремонта могут поступать электродвигатели, у которых отсутствуют паспортные данные, а обмотка повреждена в такой степени, что не представляется возможности определить ее обмоточные данные. Чтобы восстановить обмотку таких двигателей, необходим полный расчет машины. Ниже приводится расчет для наиболее распространенных трехфазных двигателей мощностью до 100 *кВт*.

Вначале снимают с натуры следующие основные размеры:

- наружный диаметр статора Da, *мм*.
- внутренний диаметр статора Di, *мм*.
- полная длина сердечника статора li, *мм*.
- число пазов статора z_1
- площадь паза $s_{\text{П}}$, *мм*^{2}
- высота паза hz_1, *мм*.
- высота спинки статора hc, *мм*.

Число полюсов $2p$ принимают по паспорту (если он имеется) или определяют возможное наименьшее число полюсов, исходя из размеров электродвигателя, по формуле:

$$2p = 0{,}5 \times \frac{Di}{hc}$$

Далее определяют следующие основные величины: полюсное деление, *мм*.,

$$\tau = \frac{\pi \times Di}{2p}$$

синхронная частота вращения:

$$n_C = 60 \times \frac{f}{p}$$

где: f – частота питающей сети, *гц*;
Число пазов на полюс и фазу:

$$q = \frac{z_1}{2p \times m}$$

где: m – число фаз.

Определяют ориентировочно полезную мощность, *кВт*, электродвигателя по формуле:

$$P = A \times Di^2 \times li \times nc$$

где: A – коэффициент использования (постоянная мощности), значение которого в зависимости от полюсного деления τ приведено на рис. 2., диаметр статора *Di*, длина сердечика статора *li*. Постоянная мощности *A* для двигателей серий 4А принимается по рис. 2 с уменьшением на 20%.

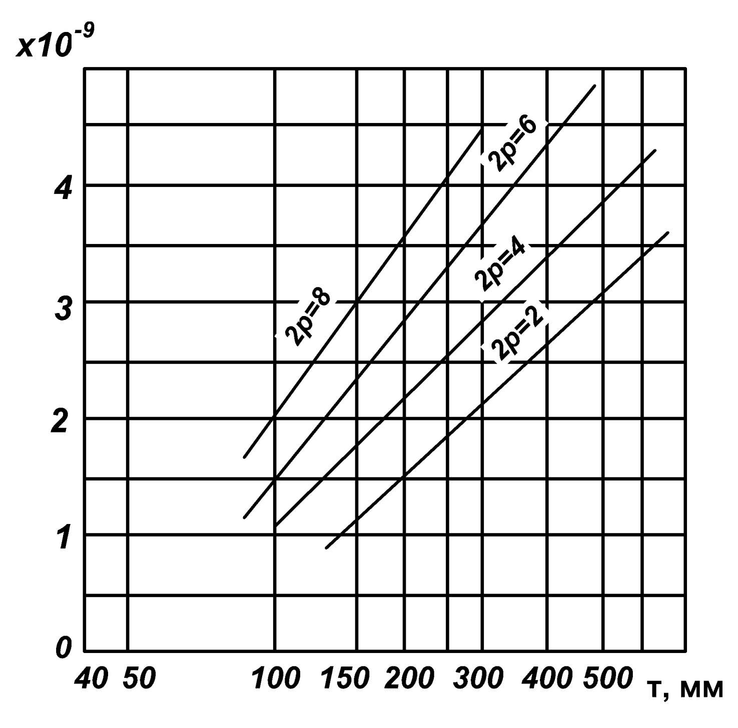


Рис. 2. Постоянная мощности А в зависимости от полюсного деления τ.

Определенная по формуле мощность электродвигателя является приближенной. Вычисление ее производится только для возможности пользования при расчетах табл. 6, где допустимые электромагнитные нагрузки указаны в зависимости от мощности электродвигателя. Далее выбирают тип и шаг обмотки статора, обмоточный коэффициент. В асинхронных двигателях единых серий при наружном диаметре статора более 200–250 *мм*. применяют двухслойные обмотки, при меньших диаметрах обычно используют однослойные обмотки.

Шаг обмотки статора y_1 принимают:

при однослойной обмотке – диаметральный:

$$y_1 = \frac{z_1}{2p}$$

при двухслойной – укороченный:

$$y_1 = \frac{\beta \times z_1}{2p}$$

где: β – коэффициент укорочения (обычно 0,75 – 0,85).
Обмоточный коэффициент kw трехфазных однослойных обмоток зависит от числа пазов на полюс и фазу (q_1). Принимается kw = (0,955 – 0,966). Обмоточный коэффициент двухслойных обмоток зависит также и от шага y (табл. 7).

Зная фазное напряжение обмотки статора $U_Ф$, при котором электродвигатель должен работать, определяют число последовательно соединенных витков в обмотке одной фазы:

$$w_Ф = \frac{U_1}{222 \times kw \times Ф}$$

где: Ф – магнитный поток на один полюс (Ф = 0,637 × Bδ × τ × li), $B\delta$ – индукция в воздушном зазоре (см. табл. 6).
Определив число витков в фазе, находят число эффективных проводников в пазу:

$$N = \frac{6 \times w_Ф \times a}{z_1}$$

где: a – число параллельных ветвей в обмотке статора.
Для практических целей при выборе числа параллельных ветвей электродвигателей мощностью до 100 *кВт* можно пользоваться табл. 8. Далее определяют полное сечение, *мм*^{2}, меди всех проводников паза:

$$s_М = s_П \times k\text{м}$$

где: $s_П$ – площадь паза, *мм*^{2}; $k_М$ – коэффициент заполнения паза медью, который можно определить по табл. 9.
Затем определяют сечение, *мм*^{2}, элементарного провода без изоляции:

$$s_{ЭЛ} = \frac{s_М}{N \times n_{ЭЛ}}$$

Далее определяют мощность электродвигателя. Для этого предварительно необходимо подсчитать фазный ток, *a*, статора:

$$I_Ф = s_{ЭЛ} \times \delta \times n_{ЭЛ} \times a$$

где: δ – плотность тока, определяемая по табл. 6.

Полная мощность, *кВ* × *А*, электродвигателя:
при соединении фаз в треугольник:

$$S = \frac{3 \times I_Ф \times U_ф}{1000}$$

при соединении фаз в звезду:

$$S = \frac{\sqrt{3} \times U \times I_Ф}{1000}$$

Активная мощность, *кВт*:

$$P = S \times \eta \times \cos\varphi$$

где: η и *cos*φ – коэффициенты полезного действия и мощности, которые приближенно можно принимать по данным, взятым из каталогов типовых электродвигателей, или по табл. 10.

Пример 2. Определить диаметр провода, число витков обмотки статора и мощность электродвигателя серии А. При обмере статора стало известно: внутренний диаметр Di = 140 *мм*., наружный диаметр Da = 245 *мм*., высота спинки hс = 30,7 *мм*., площадь паза $S_{П}$ = 290 *мм*^{2}, количество пазов статора z_1 = 24 (трапецеидальные). Длина сердечника статора li = 140 *мм*. Обмотка статора должна быть рассчитана на напряжение 220/380 *в*.

Решение.

1. Определяют возможное наименьшее число полюсов:

$$2p = \frac{0,5 \times Di}{hc} = \frac{0,5 \times 140}{30,7} = 2,3$$

Принимают $2p$ = 2.

2. Полюсное деление:

$$\tau = \frac{\pi \times Di}{2p} = \frac{3,14 \times 140}{2} = 219,8 \text{ мм}$$

3. Ориентировочная мощность электродвигателя:

$$P = A \times Di^2 \times li \times nc$$

По рис. 2 при τ = 219,8 *мм*. и $2p$ = 2 коэффициент использования A составляет 1,5 × 10^{-9}.

Мощность:

$$P = 1,5 \times 10^{-9} \times 140^2 \times 140 \times 3000 = 12,4 \text{ кВт}$$

4. Величина индукции в воздушном зазоре $B\delta$ согласно табл. 6, принимается 0,6 *Тл*.

5. Индукция в спинке статора, равная:

$$B\text{с} = 0,36 \times B\delta \times \frac{\tau}{hc} = 0,36 \times 0,6 \times \frac{219,8}{30,7} = 1,54 \text{ Тл}$$

находится в допустимых пределах (см. табл. 6).

6. Обмотка статора выбирается двухслойной с сокращением шага, равным 0,75.

7. Шаг обмотки статора:

$$y_1 = \frac{\beta \times z_1}{2p} = 0,75 \times \frac{24}{2} = 8,4$$

Принимают y_1 = 8 (1–9).

По табл. 7:

$$kw = 0,831 \text{ при } q_1 = \frac{z_1}{2pm} = \frac{24}{2 \times 3} = 4$$

8. Магнитный поток на одни полюс:

$$\Phi = 0,637 \times B\delta \times \tau \times li \times 10^{-6} = 0,637 \times 0,6 \times 219,8 \times 140 \times 10^{-6} = 0,012 \text{ Вб}.$$

9, Число последовательно соединенных витков фазы статора:

$$w_{\Phi} = \frac{U_1}{222 \times kw \times \Phi} = \frac{220}{222 \times 0,831 \times 0,012} = 99,38$$

Число витков фазы статора принимают w_{Φ} = 96, так как 96 делится на $z_1/6$.

10. Число эффективных проводников в пазу:

$$N = \frac{6 \times w_{\Phi} \times a}{z_1} = \frac{6 \times 96 \times 1}{24} = 24$$

где: a = 1 (см. табл. 8).

11. Полное сечение меди эффективных проводников паза при двухслойной обмотке и трапецеидальном пазе:

$$s_{\text{М}} = s_{\text{П}} \times k\text{м} = 290 \times 0{,}30 = 66 \text{ мм}^2$$

12. Сечение элементарного проводника без изоляции:

$$s_{\text{ЭЛ}} = \frac{s_{\text{М}}}{N \times n_{\text{ЭЛ}}} = \frac{66}{24 \times 2} = 1{,}375 \text{ мм}^2$$

13. По табл. 1 выбирают провод марки ПЭТВ1 с диаметром без изоляции 1,4 *мм*., сечением элементарного проводника $s_{\text{ЭЛ}}$ = 1,539 *мм*^{2}.

14. Мощность электродвигателя определяют следующим образом. Предварительно необходимо подсчитать фазный ток статора. По табл. 6 принимают плотность тока δ = 6 *а*/*мм*^{2}:

$$I_{\Phi} = s_{\text{ЭЛ}} \times \delta \times n_{\text{ЭЛ}} \times a = 1{,}539 \times 6 \times 2 \times 1 = 18{,}5\ a$$

По току статора и напряжению определяют полную мощность двигателя:

$$S = \frac{3 \times I_{\Phi} \times U_{\Phi}}{1000} = \frac{3 \times 18{,}5 \times 220}{1000} = 12{,}2 \text{ кв} \times a$$

Активная мощность двигателя:

$$P = S \times \eta \times \cos\varphi = 12{,}2 \times 0{,}875 \times 0{,}89 = 9{,}5 \text{ кВт}$$

где: η cos φ – коэффициенты полезного действия и мощности.
По табл. 10 принимают η = 0,875, cos φ = 0,89.

§ 3. Расчеты при перемотке обмоток статора асинхронного двигателя на новую частоту вращения

При изменении частоты вращения двигателя необходимо изменить число полюсов в статоре, а следовательно, подобрать другой шаг обмотки по пазам, число пазов на полюс и фазу. При изменении частоты вращения иногда наблюдают, что двигатель с .короткозамкнутым ротором, перемотанный на новое число полюсов, работает плохо, хотя расчет произведен совершенно правильно. Плохая работа двигателя после перемотки в этом случае объясняется несоответствием соотношения чисел пазов статора и ротора, что вызывает в работе двигателя застревание во время пуска, ненормальное гудение при работе и т. д. Во избежание этого при пересчете на новое число полюсов следует производить проверку соотношения чисел пазов статора и ротора по табл. 11.

Данные табл. 11 не относятся к двигателям с фазными роторами, пускаемым с помощью реостатов, однако при переделке фазных роторов на короткозамкнутые они должны быть учтены, так как возможность залипания и застревания таких роторов очень велика.

После проверки соотношения числа пазов на статоре и роторе определяют число эффективных проводников в пазу и их сечение:

$$N_{\text{НОВ}} = N_{\text{СТ}} \times \frac{n_{\text{СТ}} \times a_{\text{НОВ}} \times kw_{\text{СТ}}}{n_{\text{НОВ}} \times a_{\text{СТ}} \times kw_{\text{НОВ}}}; \quad s_{\text{НОВ}} = s_{\text{СТ}} \times \frac{N_{\text{СТ}}}{N_{\text{НОВ}}}$$

где: $N_{\text{СТ}}$ и $N_{\text{НОВ}}$ – старое и новое количество эффективных проводников в пазу; $s_{\text{НОВ}}$ и $s_{\text{СТ}}$ – новое и старое сечения эффективных проводников обмотки; $n_{\text{СТ}}$ и $n_{\text{НОВ}}$ – старая и новая частоты вращения; $k_{\text{WСТ}}$ и $k_{\text{WНОВ}}$ – обмоточные коэффициенты старой и новой обмоток. Число последовательных витков в фазе при перемотке:

$$w_{\text{НОВ}} = \frac{N_{\text{НОВ}} \times z_1}{6 \times a}$$

Мощность электродвигателя после перемотки:

$$P_{\text{НОВ}} = P_{\text{СТ}} \times \frac{n_{\text{НОВ}}}{n_{\text{СТ}}}$$

Из этой формулы видно, что при пересчете на меньшую частоту вращения уменьшается мощность двигателя, при пересчете на большую частоту вращения мощность двигателя растет. При пересчете на большую частоту вращения (на меньшее число полюсов) магнитная индукция в спинке статора может увеличиться за допустимые пределы (см. табл. 6). В результате чрезмерного увеличения индукции в спинке резко возрастает намагничивающий ток и двигатель вообще может оказаться неработоспособным. Магнитную индукцию в спинке статора и воздушном зазоре можно определить по формулам:

магнитная индукция, *Тл*, в воздушном зазоре:

$$B_\delta = 6400 \times \frac{ke \times U_{\Phi}}{kw \times Q_{\Pi} \times w_{\Phi}}$$

где: *k*е (отношение ЭДС к напряжению) принимается равным:

0,86–0,90 при Q_{Π} = 5000 – 10000 *мм*^{2};
0,90–0,93 при Q_{Π} = 10000 – 15000 *мм*^{2};
0,93–0,95 при Q_{Π} = 15000 – 40000 *мм*^{2};
0,96–0,97 при Q_{Π} свыше 40000 *мм*^{2};

где: *Q*п – площадь полюсного деления, *мм*^{2}:

$$Q_{\Pi} = \frac{3{,}14 \times Di \times li}{2p}$$

магнитная индукция, *Тл*, в спинке статора:

$$Bc = 0{,}36 \times B\delta \times \frac{\tau}{h_{\text{С}}}$$

где: *h*с – высота спинки статора, *мм*.

Индукции в воздушном зазоре и спинке статора не должны превышать значений, приведенных в табл. 6.

Если окажется, что индукция в спинке статора будет больше допустимых значений, то количество эффективных проводников в пазу необходимо увеличить следующим образом:

$$N'_{\text{НОВ}} = N_{\text{НОВ}} \times \frac{Bc}{1{,}2 - 1{,}7} \text{ при } 2p = 2$$

$$N'_{\text{НОВ}} = N_{\text{НОВ}} \times \frac{Bc}{1 - 1{,}5} \text{ при } 2p > 2$$

После перемотки асинхронного двигателя на работу с другой частотой вращения необходимо учитывать следующее.

1. Увеличение частоты вращения двигателя сопровождается увеличением нагрева подшипников. В этом случае следует проверить нагрев подшипников при обкатке двигателя.
2. При увеличении частоты вращения вылет лобовых частей из–за удлинения шага возрастает, поэтому необходимо проверить расстояние от лобовой части до щита электродвигателя. Оно должно быть при напряжении 660 *в* не менее 8–10 мм.
3. При выполнении обмотки электродвигателя круглым проводом необходимо диаметр проводников выбирать таким, чтобы они проходил через шлиц.
4. При снижении частоты вращения ухудшается охлаждение электродвигателя, вследствие чего полученную мощность рекомендуется уменьшать на 10–15%. При увеличении частоты вращения плотность тока можно повысить на 10–15% и соответственно повысить мощность электродвигателя.

Пример 3. Требуется перемотать обмотку статора двигателя мощностью 13 *кВт*, 1500 *об. мин.*. ($2p$ = 4), 220/380 *в*, на 1000 *об. мин.* ($2p$ = 6). Обмотка двухслойная. Di = 180 *мм.*, li = 120 *мм.*, $N_{\text{СТ}}$ = 40, $a_{\text{СТ}}$ = 2, $n_{\text{ЭЛСТ}}$ = 2, z_1 = 36, z_2 = 26 (пазы ротора прямые), hc = 29,6 *мм.*, $d_{\text{СТ}}$ = 1,25 *мм*. ($s_{\text{СТ}}$ = 1,227 *мм*^{2}), марка провода ПЭТВ–1.

Решение.

1. По табл. 11 определяют, что требуемая перемотка двигателя на новую частоту вращения по соотношению пазов статора и ротора при новом числе полюсов $2p$ = 6 возможна.
2. Число пазов на полюс и фазу:

$$q_{\text{СТ}} = \frac{z_1}{2p_{\text{СТ}} \times m} = \frac{36}{4 \times 3} = 3; \quad q_{\text{НОВ}} = \frac{36}{6 \times 3} = 2$$

3. Шаг обмотки по пазам:

$$y_{\text{СТ}} = 0{,}83 \times \frac{z_1}{2p_{\text{СТ}}} = 0{,}83 \times \frac{36}{4} = 7{,}45$$

Принимают $y_{\text{СТ}}$ = 7 (т. е. 1 – 8).

$$y_{\text{НОВ}} = 0{,}83 \times \frac{z_1}{2p_{\text{НОВ}}} = 0{,}83 \times \frac{36}{6} = 5$$

Принимаем $y_{\text{НОВ}}$ = 5 (т. е. 1 – 6).
Обмоточные коэффициенты (по табл. 7) $kw_{\text{СТ}}$ = 0,902, $kw_{\text{НОВ}}$ = 0,933.
4. Число эффективных проводников в пазу при перемотке:

$$N_{\text{НОВ}} = N_{\text{СТ}} \times \frac{n_{\text{СТ}} \times a_{\text{НОВ}} \times kw_{\text{СТ}}}{n_{\text{НОВ}} \times a_{\text{СТ}} \times kw_{\text{НОВ}}} = 40 \times \frac{1500 \times 2 \times 0{,}902}{1000 \times 2 \times 0{,}933} = 58$$

где: $a_{\text{НОВ}}$ = 2 (по табл. 8).

5. Число последовательных витков при $N_{\text{НОВ}} = 58$:

$$w_{\text{НОВ}} = \frac{N_{\text{НОВ}} \times z_1}{6 \times a} = \frac{58 \times 36}{6 \times 2} = 174$$

6. Полюсное деление:

$$\tau = \frac{\pi \times Di}{2p_{\text{НОВ}}} = \frac{3{,}14 \times 180}{6} = 94{,}2 \text{ мм}$$

7. Площадь полюсного деления:

$$Q\text{п} = \frac{3{,}14 \times Di \times li}{2p_{\text{НОВ}}} = \frac{3{,}14 \times 180 \times 120}{6} = 11310 \quad \text{мм}^2$$

8. Индукция в воздушном зазоре:

$$B_\delta = 6400 \times \frac{ke \times U_{\text{ф}}}{kw_{\text{НОВ}} \times Q_{\text{П}} \times w_{\text{НОВ}}} = 6400 \times \frac{0{,}9 \times 220}{0{,}933 \times 11310 \times 174} = 0{,}69 \quad \text{Тл}$$

где: $ke = 0{,}9$.

9. Индукция в спинке статора:

$$Bc = 0{,}36 \times B\delta \times \frac{\tau}{hc} = 0{,}36 \times 0{,}69 \times \frac{94{,}2}{29{,}6} = 0{,}8 \quad \text{Тл}$$

Из приведенных расчетов видно, что магнитная индукция после перемотки не превышает допустимых значений (см. табл. 6).

10. Новое сечение проводников обмотки:

$$s_{\text{НОВ}} = s_{\text{СТ}} \times \frac{N_{\text{СТ}}}{N_{\text{НОВ}}} = 1{,}227 \times \frac{40}{58} = 0{,}85 \quad \text{мм}^2$$

По табл. 1 выбирают провод марки ПЭТВ–1 с сечением $s_{\text{НОВ}} = 0{,}882$ *мм*^{2} и диаметром $d_{\text{НОВ}} = 1{,}06$ *мм*.

11. Проверяют, разместится ли новая обмотка в пазу:

$$\frac{N_{\text{НОВ}} \times d_{\text{НОВ}}^2}{N_{\text{СТ}} \times d_{\text{СТ}}^2} < 1, \quad \frac{58 \times 1{,}06^2}{40 \times 1{,}25^2} = 0{,}996 < 1$$

Следовательно, проводники новой обмотки разместятся в пазу.

§ 4. Расчет конденсаторов для работы трехфазного асинхронного двигателя в однофазном режиме.

Для включения трехфазного электродвигателя в однофазную сеть обмотки, статора могут быть соединены в звезду (рис. 3, а) или треугольник (рис. 3, б). Напряжение сети подводят к началам двух фаз. К началу третьей фазы и одному из зажимов сети присоединяют рабочий конденсатор 1 и отключаемый (пусковой) конденсатор 2, который необходим для увеличения пускового момента.
Пусковая емкость конденсаторов Сп = Ср + Со, где Ср – рабочая емкость, Со – отключаемая емкость. После пуска двигателя конденсатор 2 отключают.

Рабочую емкость конденсаторного двигателя для частоты 50 *гц* определяют по формулам:

для схемы на рис. 3, а $C_P = \frac{2800 \times I_H}{U}$ для схемы на рис. 3, в $C_P = \frac{1600 \times I_H}{U}$

для схемы на рис. 3, б $C_P = \frac{4800 \times I_H}{U}$ для схемы на рис. 3, г $C_P = \frac{2740 \times I_H}{U}$

где: C_P – рабочая емкость при номинальной нагрузке, мкФ; I_H – номинальный ток фазы двигателя, *а*; U – напряжение сети, *в*.

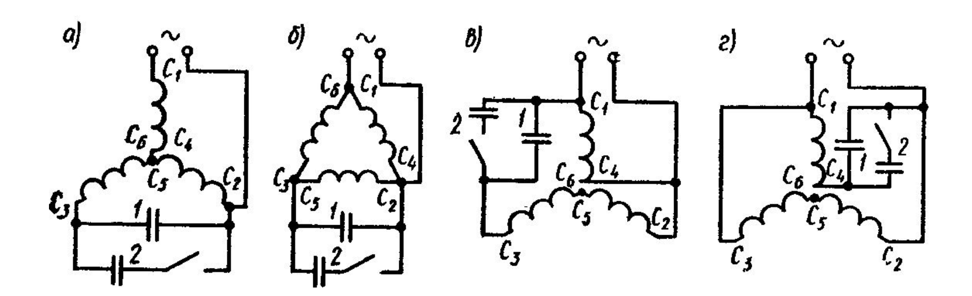


Рис. 3. Принципиальные электрические схемы включения конденсаторов в цепь статора трехфазного асинхронного двигателя.

Нагрузка двигателя с конденсатором не должна превышать 65–85% номинальной мощности, указанной на щитке трехфазного двигателя. Если пуск двигателя происходит без нагрузки, то пусковая емкость не требуется – рабочая емкость будет в то же время пусковой. В этом случае схема включения упрощается. При пуске двигателя под нагрузкой, близкой к номинальному моменту, необходимо иметь пусковую емкость:

$$C_П = (2,5 \div 3) \times C_P.$$

Выбор конденсаторов по номинальному напряжению производят по соотношениям:

для схемы на рис. 3, а, б; $U_К = 1,15 \times U$

для схемы на рис. 3, в: $U_К = 2,2 \times U$

для схемы на рис. 3, г; $U_К = 1,3 \times U$

где: $U_К$ и U – напряжения на конденсаторе и в сети. Основные технические данные некоторых конденсаторв приведены в таблице 12.

Если трехфазный электродвигатель, включенный в однофазную сеть, не достигает номинальной частоты вращения, а застревает на малой скорости, следует увеличить сопротивление клетки ротора проточкой короткозамыкающих колец или увеличить воздушный зазор шлифовкой ротора на 15–20%. В том случае, если конденсаторы отсутствуют, можно использовать резисторы, которые включаются по тем же схемам, что и при конденсаторном пуске (см. рис. 3). Резисторы включаются вместо пусковых конденсаторов (рабочие конденсаторы отсутствуют).
Сопротивление, *Ом*, резистора может быть определено по формуле:

$$R = \frac{0,86 \times U}{k_i \times I}$$

где: R – сопротивление резистора; k_i – кратность пускового тока; I – линейный ток в трехфазном режиме.

Пример 4. Определить рабочую емкость для двигателя АО 31/2, 0,6 *кВт*, 127/220 *в*, 4,2/2,4 *а*, если двигатель включен по схеме, изображенной на рис. 3, *а*, а напряжение сети равно 220 *в*. Пуск двигателя без нагрузки.

Решение.

1. Рабочая емкость: $C_Р$ = 2800×2,4/220 = 30,5 *мкФ*.
2. Напряжение на конденсаторе при выбранной схеме $U_К$ = 1,15 × U = 1,15× 220 = 253 *в*.
По табл. 12 выбирают четыре конденсатора МБГО по 10 *мкФ* каждый с рабочим напряжением 300 *в*. Конденсаторы включать параллельно.

§ 5. Расчет обмоток однофазного электродвигателя при перемотке его из трехфазного.

Однофазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором должен иметь пусковую и рабочую обмотки. Их расчет производят так же, как расчет обмоток трехфазных асинхронных двигателей.

Число проводников в пазу рабочей обмотки (укладывается в ⅔ пазов статора)

$$N_{\text{Р}} = (0{,}5 \div 0{,}7) \times N \times \frac{Uc}{U}$$

где: N – число проводников в пазу трехфазного электродвигателя; $U_С$ – напряжение однофазной сети, *в*; U – номинальное напряжение фазы трехфазного двигателя, *в*. Меньшие значения коэффициента берутся для двигателей большей мощности (около 1 *кВт*) с кратковременным и повторно–кратковременным режимами работы. Диаметр, *мм*., провода (голого) по меди рабочей обмотки:

$$d_{\text{РГ}} = d_{\text{Г}} \times \sqrt{\frac{N}{N_P}}$$

где: $d_Г$ – диаметр провода по меди трехфазного двигателя, *мм*.
Пусковая обмотка укладывается в ⅓ пазов.
Наиболее распространены два варианта пусковых обмоток: с бифилярными катушками и с дополнительным внешним сопротивлением. Обмотка с бифилярными катушками наматывается из двух параллельных проводников с разным направлением тока (индуктивное сопротивление рассеяния бифилярных обмоток близко к нулю).

Пусковая обмотка с бифилярными катушками.

1. Число проводников в пазу для основной секции: $N'_{\text{П}} = (1{,}3 \div 1{,}6) \times\ N_P$
2. Число проводников в пазу для бифилярной секции: $N''_{\text{П}} = (0{,}45 \div 0{,}25) \times N'_{\text{П}}$
3. Общее число проводников в пазу: $N_{\text{П}} = N'_{\text{П}} + N''_{\text{П}}$
4. Сечение проводов $s'_П$ = $s''_П$ ≈ 0,5 × $s_Р$, где $s_Р$ – сечение рабочей обмотки.

Пусковая обмотка с внешним сопротивлением.

1. Число проводников в пазу: $N_{\text{П}} = \ (0{,}74 \div 1) \times N_P$
2. Сечение проводов: $s_{\text{П}} = (1{,}4 \div 1) \times s_P$
3. Добавочное сопротивление, *Ом* (окончательно уточняется при испытаниях двигателя):

$$R_{\text{Д}} = (1{,}6 \div 8) \times 10^{-3} \times \frac{U_{\text{С}}}{s_{\text{П}}}$$

где: $U_С$ – напряжение однофазной сети, *в*.
Для получения большого пускового момента предпочтение следует отдать второму варианту пусковой обмотки, так как в этом случае существует возможность получения наибольшего пускового момента путем изменения внешнего сопротивления.

Ток однофазного электродвигателя определяют по вычисленному сечению для рабочей обмотки и плотности тока в обмотке трехфазного двигателя:

$$I_1 = s_P \times \delta$$

где: δ – допустимая плотность тока (6–10 $a/мм^2$).
Мощность однофазного электродвигателя:

$$P = U \times I_1 \times \cos\varphi \times \eta$$

Произведение cosφ на кпд можно определить из табл. 13. При мощности двигателя свыше 500 *Вт* значения η и cosφ можно брать как для трехфазных асинхронных двигателей, снизив мощность однофазного двигателя по приведенной выше формуле на 10–15%.

Пример 5. Пересчитать трехфазный двигатель на однофазную обмотку. Мощность электродвигателя 0,125 *кВт*, напряжение 220/380 *в*, синхронная частота вращения 3000 *об. мин.*; число проводников в пазу 270, число пазов статора 18. Провод марки ПЭВ–2, диаметр по меди 0,355 *мм*., сечение 0,0989 $мм^2$. Заданное напряжение однофазного двигателя 220 *в*.

Решение.

1. Рабочая обмотка занимает ⅔ пазов, а пусковая – ⅓ пазов ($z_Р$ = 12, $z_П$ = 6).
2. Число проводников в пазу рабочей обмотки:

$$N_Р = 0{,}6 \times N \times \frac{U_С}{U} = 0{,}6 \times 270 \times \frac{220}{220} = 162$$

3. Диаметр провода рабочей обмотки по меди:

$$d_{РГ} = d_Г \times \sqrt{\frac{N}{N_Р}} = 0{,}355 \times \sqrt{\frac{270}{162}} = 0{,}458 \quad мм$$

где: $d_Г$ = 0,355 *мм*. – диаметр провода по меди трехфазного двигателя.
Берут провод ПЭВ–2, $d_Г$ = 0,45 *мм*, $s_{Р.Г}$ = 0,159 $мм^2$.
4. Пусковую обмотку принимают с внешним сопротивлением.
5. Число проводников в пазу:

$$N_П = 0{,}8 \times N_Р = 0{,}8 \times 162 \approx 128.$$

6. Сечение проводов пусковой обмотки:

$$s_П = 1{,}1 \times s_Р = 1{,}1 \times 0{,}159 = 0{,}168 \text{ мм}^2$$

Берут провод ПЭВ–2 диаметром по меди $d_{ПГ}$ = 0,475 мм, $s_{ПГ}$ = 0,1771 $мм^2$.
7. Добавочное сопротивление:

$$R_Д = 4 \times 10^{-3} \times \frac{U_С}{s_П} = 4 \times 10^{-3} \times \frac{220}{0{,}1771} \approx 5 \text{ Ом}.$$

8. Ток однофазного электродвигателя при δ = 8 $a/мм^2$:

$$I_1 = s_{РГ} \times \delta = 0{,}159 \times 8 = 1{,}28\ a$$

9. Мощность однофазного электродвигателя:

$$P = U \times I_1 \times \cos\varphi \times \eta = 220 \times 1{,}28 \times 0{,}4 = 110 \text{ вт}$$

Таблица 1. Диаметры и расчетные сечения медных эмалированных проводов.

Номинальный диаметр проволоки *мм*.	Сечение проволоки *мм*^{2}	Максимальный внешний диаметр провода, *мм*.									
		ПЭТВ–БЖ ПЭТВр	ПЭС–1	ПЭТВ–2 ПЭТВ-2ТС ПЭТВЦ	ПЭЛ ПЭВЛ ПЭВТЛН –1	ПЭВТЛ–1	ПЭВТЛ–2 ПЭВТЛН–2	ПЭТ–200	ПЭТВМ	ПВД ПЭВДВ	ПЭТВ–1
0,02	0,000314	0,035	0,035		0,026	0,026	0,028				
0,025	0,000491	0,040	0,040		0,031	0,031	0,034				
(0,032)	0,000804	0,048	0,045		0,040	0,040	0,043				
0,040	0,00126	0,055	0,053		0,050	0,050	0,054				
0,05	0,00196	0,065	0,07		0,065	0,066	0,068				0,062
(0,06)	0,00280	0,085	0,085	0,084	0,075	0,077	0,082				0,075
0,063	0,00283	0,085	0,078	0,084	0,076	0,078	0,085				0,078
		0,088									
0,071	0,00385	0,095	0,088	0,094	0,086	0,088	0,095				0,088
0,08	0,00503	0,105	0,098	0,104	0,095	0,098	0,105				0,096
0,09	0,00636	0,115	0,110	0,116	0,105	0,110	0,117				0,106
0,10	0,00785	0,125	0,120	0,128	0,120	0,125	0,130			0,14	0,120
0,112	0,00985	0,143	0,134	0,14	0,132	0,137	0,142			0,152	0,134
		0,135									
(0,12)	0,01131	0,145		0,15	0,140	0,145	0,150			0,16	0,140
0,125	0,0123	0,150	0,148	0,154	0,145	0,150	0,155			0,165	0,145
0,13	0,01327	0,155		0,16	0,150	0,155	0,160			0,17	0,150
0,14	0,01539	0,16	0,164	0,17	0,160	0,165	0,170			0,18	0,16
(0,15)	0,01767	0,18		0,19	0,170	0,18	0,190			0,20	0,170
0,16	0,0201	0,19	0,186	0,198	0,180	0,19	0,200			0,21	0,185
(0,17)	0,0227	0,20	0,198	0,21	0,19	0,20	0,210			0,22	0,195
0,18	0,0255	0,21	0,208	0,22	0,20	0,21	0,220			0,23	0,205
(0,19)	0,0284	0,22	0,22	0,23	0,21	0,22	0,230			0,24	0,215
0,20	0,0314	0,23	0,23	0,24	0,225	0,23	0,240			0,25	0,225
(0,21)	0,0346	0,24		0,25	0,235	0,24	0,250			0,26	0,235
0,224	0,0394		0,256	0,264	0,250	0,265	0,275			0,282	0,255
(0,236)	0,0437			0,286	0,261	0,276	0,286			0,294	0,266
0,25	0,0491	0,29	0,284	0,30	0,275	0,29	0,300		0,31	0,31	0,280
(0,265)	0,0551			0,314		0,305	0,315		0,325	0,325	0,300
0,28	0,0615		0,314	0,33		0,320	0,330		0,340	0,340	0,315
0,30	0,0706			0,350		0,340	0,350		0,360	0,360	0,335
0,315	0,0779		0,352	0,364		0,355	0,365		0,375	0,375	0,350
(0,335)	0,0989			0,384		0,375	0,385		0,395	0,395	0,375
0,355	0,099		0,394	0,414		0,395	0,415		0,425	0,415	0,395
(0,38)	0,1134	0,43		0,44	0,42	0,420	0,440	0,44	0,450	0,450	0,420
0,40	0,1256		0,440	0,46		0,440	0,460		0,470	0,470	0,440
(0,425)	0,1417			0,484		0,465	0,485		0,495	0,495	0,465
0,45	0,159		0,490	0,510		0,490	0,510		0,520	0,530	0,495
(0,475)	0,1771			0,534		0,515	0,535		0,545	0,555	0,520
0,50	0,1963		0,548	0,560		0,545	0,565	0,57	0,58	0,585	0,545
(0,53)	0,221	0,59		0,600	0,58	0,580	0,600		0,610		
0,56	0,2462		0,610	0,630		0,610	0,630	0,63	0,640	0,645	0,610
0,60	0,2826			0,670		0,650	0,670		0,680	0,695	0,650
0,63	0,3116		0,680	0,700		0,680	0,705	0.71	0,720	0,725	0,680
(0,67)	0,353	0,73		0,750	0,72	0,720	0,750		0,760		0,720
0,71	0,3957		0,760	0,790		0,760	0,790	0,79	0,800		0,765
0,75	0,4416		0,800	0,830		0,810	0,840	0,83	0,840		0,805
0,80	0,503	0,87	0,800	0,880	0,86	0,860	0,890	0,89	0,890		0,860
0,85	0,5672		0,910	0,930		0,910	0,940	0,94	0,940		0,910
0,90	0,636	0,97	0,960	0,990	0,96	0,960	0,990	0,99	0,990		0,960
0,95	0,7085		1,010	1,040		1,010	1,040	1,04	1,040		1,010
1,00	0,785	1,09	1,060	1,090	1,07	1,080	1,110	1,09	1,110		1,065
1,06	0,882		1,130	1,150		1,140	1,170	1,16	1,170		1,130
1,12	0,985	1,21	1,19	1,210	1,20	1,200	1,230	1,22	1,230		1,190

Продолжение табл. 1.

Номинальный диаметр проволоки *мм*	Сечение проволоки $мм^2$	Максимальный внешний диаметр провода, *мм*.									
		ПЭТВ–БЖ ПЭТВр	ПЭС–1	ПЭТВ–2 ПЭТВ–2ТС ПЭТВЦ	ПЭЛ ПЭВЛ ПЭВТЛН–1	ПЭВТЛ–1	ПЭВТЛ–2 ПЭВТЛН–2	ПЭТ–200	ПЭТВМ	ПВД ПЭВДВ	ПЭТВ–1
1,18	1,093	1,34	1,25	1,270		1,260	1,290	1,28	1,230		1,250
1,25	1,227		1,32	1,350	1,33	1,330	1,360	1,35	1,360		1,320
1,32	1,368	1,49	1,39	1,420		1,400	1,430	1,42	1,43		1,370
1,40	1,539	1,59	1,47	1,500	1 48	1 480	1,510	1,51			1,475
1,50	1,767		1,58	1,600	1,58	1,580	1,610	1,61			1,580
1,60	2,0096		1,68	1,710	1,665	1,686	1,710	1,71			1,680
1,70	2,269		1,78	1,810							
1,80	2,543		1,88	1,910				1,92			
1,90	2,834		1,99	2,010				2,02			
2,00	3,14		2,090	2,120				2,12			
2,12	3,528		2,210	2,240				2,24			
2,24	3,939		2,330	2,360				2,37			
2,36	4,372		2,450	2,480				2,49			
2,50	4,906		2,600	2,630				2,63			

Примечание. Провода, размеры которых указаны в скобках, следует применять только в отдельных случаях при обосновании технико–экономической целесообразности.

Таблица 2. Диаметры и расчетные сечения обмоточных проводов.

Номинальный диаметр проволоки *мм*.	Сечение проволоки $мм^2$	Максимальный внешний диаметр провода, *мм*.					
		ПЭВ–1	ПЭВ–2	ПЭС–2	ПЭТ–155	ПЭТимид ПНЭТимид	ПЭФ–155
0,02	0,000314	0,035	–	–	–	–	–
0,025	0,000491	0,040	–	–	–	–	–
0,032	0,000804	0,045	–	–	–	0,040	–
0,040	0,00126	0,055	–	–	–	0,050	–
0,050	0,00196	0,070	0,080	–	–	0,062	–
(0,060)	0,00280	0,085	0,090	–	0,090	(0,075)	–
0,063	0,00283	0,085	0,090	0,085	0,090	0,078	0,078
0,071	0,00385	0,095	0,1	0,095	0,100	0,088	0,086
0,080	0,00503	0,105	0,11	0,105	0,11	0,098	–
0,090	0,00636	0,115	0,12	0,116	0,12	0,110	–
0,100	0,00785	0,125	0,13	0,128	0,13	0,121	–
0,112	0,00985	0,135	0,14	0,140	0,140	0,134	–
(0,120)	0,01131	0,145	0,15	–	0,150	0,144	–
0,125	0,0123	0,150	0,155	0,154	0,155	0,149	–
(0,130)	0,01327	0,155	0,160	–	0,160	0,150	–
0,140	0,01539	0,165	0,170	0,170	0,170	0,166	–
(0,150)	0,01767	0,180	0,190	–	0,19	0,177	–
0,160	0,0201	0,190	0,200	0,198	0,20	0,187	–
(0,170)	0,0227	0,20	0,21	0,200	0,21	0,199	–
0,180	0,0255	0,210	0,220	0,220	0,22	0,209	–
(0,190)	0,0284	0,220	0,230	0,230	0,23	0,220	–
0,200	0,0314	0,230	0,240	0,240	0,240	0,230	–
(0,210)	0,0346	0,240	0,250	–	0,26	0,242	–
0,224	0,0394	0,260	0,270	0,264	0,27	0,256	–
(0,236)	0,0437	0,275	0,285	–	0,285	0.270	–
0,250	0,0491	0,290	0,300	0,300	0,3	0,284	–

Таблица 2. Диаметры и расчетные сечения обмоточных проводов, продолжение.

Номинальный диаметр проволоки *мм.*	Сечение проволоки *мм*^{2}	Максимальный внешний диаметр провода, *мм.*					
		ПЭВ–1	ПЭВ–2	ПЭС–2	ПЭТ–155	ПЭТимид ПНЭТимид	ПЭФ–155
(0,265)	0,0551	0,305	0,315	–	0,315	0,300	–
0,280	0,0615	0,320	0,330	0,330	0,330	0,315	0,33
(0,300)	0,0706	0,340	0,350	–	0,350	0,337	–
0,315	0,0779	0,355	0,365	0,364	0,365	0,352	0,370
(0,335)	0,0989	0,375	0,385	–	0,385	0,375	0,390
0,355	0,099	0,395	0,415	0,414	0,405	0,395	0,410
(0,380)	0,1134	0,420	0,440	–	0,440	0,422	–
0,40	0,1256	0,440	0,460	0,460	0,460	0,442	0,460
(0,425)	0,1417	0,465	0,485	–	0,490	0,470	–
0,450	0,159	0.400	0,510	0,510	0,520	0,495	0,510
(0,475)	0,1771	0,525	0,545	–	0,545	0,523	
0,500	0,1963	0,550	0,570	0,568	0,57	0,540	0,56
(0,530)	0,221	0,580	0,600	–	0,60	0,581	0,6
0,560	0,2462	0,610	0,630	0,630	0,63	0,611	0,63
(0,600)	0,2826	0,65	0,67	–	0,67	0,654	–
0,630	0,3116	0,680	0,700	0,700	0,71	0,684	0,700
(0,670)	0,353	0,720	0,75	–	0,75	0,727	0,750
0,710	0,3957	0,76	0,79	0,790	0,79	0,767	0,79
0,750	0,4416	0,81	0,84	0,830	0,83	0,809	0,83
0,80	0,503	0,86	0,89	0,880	0,89	0,861	0,88
0,85	0,5672	0,91	0,94	0,930	0,94	0,913	0,93
0,90	0,636	0,96	0,99	0,990	0,99	0,965	0,99
0,95	0,7085	1,01	1,04	1,040	1,040	1,017	1,040
1,000	0,785	1,07	1,10	1,090	1,090	1,068	1,090
1,06	0,882	1,13	1,16	1,150	1,160	1,13	1,150
1 12	0,985	1,19	1,22	1,210	1,22	1,192	1,210
1,18	1,093	1,26	1,28	1,270	1,28	1,254	1,270
1,25	1,227	1,33	1,35	1,350	1,35	1,325	1,350
1,32	1,368	1,4	1,42	1,420	1,42	1,397	1,420
1,400	1 539	1,48	1,51	1,50	1,51	1,479	1,500
1,500	1,767	1,58	1,61	1,60	1,61	1,581	1,60
1,600	2,0096	1,68	1,71	1,710	1,71	1,683	1,71
1,700	2,269	1,78	1,81	1,810	1,81	1,785	1,810
1,80	2,543	1,89	1,92	1,910	1,92	1,886	1,910
1,90	2,834	1,99	2,020	2,010	2,02	1,990	–
2,00	3,14	2,09	2,12	2,120	2,12	2,092	–
2,12	3,528	2,21	2,24	2,240	2,24	2,22	–
2,24	3,939	2,34	2,37	2,36	2,37	2,340	–
2,36	4,372	2,46	2,49	2,480	2,49	2,460	–
2,50	4,906	2,6	2,63	2,630	2,63	2,600	–

Таблица 3. Диаметры и расчетные сечении обмоточных проводов типа ПЭТВЛО, ПЭЛШКО, ПЭВТЛЛО, ПЭЛО, ПЭШО, ПЭПЛОТ, ПЭЛБД, ПЭТВБД, ПЭБО, ПЭЛШКД.

Номинальный диаметр проволоки, *мм*	Сечение проволоки, *мм*^{2}	Максимальный внешний диаметр провода, *мм*.							
		ПЭТВЛО ПЭВТЛЛО	ПЭЛШКО	ПЭЛО ПЭШО	ПЭПЛОТ	ПЭЛБД	ПЭТВБД	ПЭБО	ПЭЛШКД
0,05	0,00196	–	–	0,14	–	–	–	–	–
(0,06)	0,00280	–	–	0,15	–	–	–	–	–
0,063	0,00283	–	–	0,16	–	–	–	–	–
0,071	0,00385	–	–	0,16	–	–	–	–	–
0,08	0,00503	–	–	0,17	0,19	–	–	–	–
0,09	0,00636	–	–	0,18	0,20	–	–	–	–
0,10	0,00785	–	0,18	0,19	0,21	–	–	–	–
0,112	0,00985	–	0,20	0,20	0,23	–	–	–	–
(0,12)	0,01131	–	0,20	0,21	0,23	–	–	–	–
0,125	0,0123	–	0,21	0,22	0,24	–	–	–	–
(0,13)	0,01327	–	0,21	0,22	0,24	–	–	–	–
0,14	0,01539		0,22	0,23	0,25	–		–	–
0,15	0,01767	–	0,23	0,24	0,27	–		–	–
0,16	0,0201	–	0,24	0,25	0,28	–		–	–
0,17	0,0227	–	0,25	0,26	0,29	–		–	–
0,18	0,0255	–	0,26	0,27	0,30	–		–	–
0,19	0,0284	–	0,27	0,28	0,31	–		–	–
0,20	0,0314	0,32	0,29	0,30	0,32	–		–	–
0,21	0,0346	0,34	0,31	0,31	0,34	–		–	–
0,224	0,0394	0,35	0,32	0,33	0,37	–		–	–
0,236	0,0437	0,37	0,33	0,34	0,38	–		–	–
0,25	0,0491	0,39	0,35	0,35	0,40	–		–	–
0,265	0,0551	0,40	0,38	0,39	0,41	–		–	–
0,28	0,0615	0,42	0,40	0,40	0,43	–		–	–
0,30	0,0706	0,44	0,42	0,42	0,45	–		–	–
0,315	0,0779	0,45	0,43	0,44	0,46	–		–	–
0,335	0,0989	0,47	0,45	0,46	0,48	–		–	–
0,355	0,099	0,49	0,47	0,48	0,50	–	–	–	–
0,38	0,1134	0,52	0,50	0,50	0,53	–	–	0,51	–
0,40	0,1256	0,54	0,52	0,52	0,55	–	–	0,58	–
0,425	0,1417	0,57	0,55	0,55	0,58	–	–	0,60	–
0,45	0,159	0,60	0,58	0,59	0,61	–	–	0,63	–
0,475	0,1771	0,63	0,61	0,61	0,64	–	–	0,66	–
0,50	0,1963	0,65	0,63	0,63	0,67	–	–	0,69	–
0,53	0,221	0,69	0,66	0,66	–	–	–	0,71	–
0,56	0,2462	0,72	0,69	0,69	–	–	–	0,74	–
0,60	0,2826	0,76	0,73	0,73	–	–	–	0,78	–
0,63	0,3116	0,79	0,76	0,76	–	–	–	0,81	–
0,67	0,353	0,84	0,80	0,80	–	–	–	0,85	–
0,71	0,3957	0,89	0,85	0,85	–	–	1,05	0,90	–
0,75	0,4416	0,94	0,90	0,90	–	–	–	0,95	0,96
0,80	0,503	0,99	0,95	0,95	–	–	–	1,0	1,01
0,85	0,5672	1,04	1,0	1,0	–	–	–	1,05	1,06
0,90	0,636	1,09	1,05	1,05	–	–	–	1,10	1,11
0,95	0,7085	1,14	1,10	1,10	–	1,25	1,29	1,15	1,16
1,0	0,785	1,20	1,16	1,16	–	1,35	1,39	1,23	1,21
1,06	0,882	1,26	1,22	1,22	–	1,41	1,45	1 29	1,27
1,12	0,985	1,32	1,28	1,28	–	1,41	1,51	1,35	1,33

Продолжение табл. 3.

Номинальный диаметр проволоки, *мм*	Сечение проволоки, $мм^2$	Максимальный внешний диаметр провода, *мм.*							
		ПЭТВЛО ПЭВТЛЛО	ПЭЛШКО	ПЭЛО ПЭШО	ПЭПЛОТ	ПЭЛБД	ПЭТВБД	ПЭБО	ПЭЛШКД
1,18	1,093	1,38	1,34	1,34	–	1,53	1,57	1,41	1,39
1,25	1,227	1,45	1,41	1,41	–	1,6	1,64	1,48	1,46
1,32	1,368	1,52	1,48	1,48	–	1,67	1,71	1,55	1,53
1,40	1,539	–	1,56	1,56	–	1,75	1,79	1,63	1,61
1,5	1,767	–	1,68	1,68	–	1,85	1,89	1,74	–
1,6	2,010	–	1,68	–	–	1,95	1,99	1,84	–
1,7	2,269	–	–	–	–	2,05	2,09	1,99	–
1,8	2,543	–	–	–	–	2,15	2,19	2,04	–
1,9	2,834	–	–	–	–	2,25	2,29	2,14	–
2,0	3,14	–	–	–	–	2,35	2,39	2,85	–
2,12	3,528	–	–	–	–	2,47	2,51	3,37	–

Таблица 4. Значения коэффициента *k*d.

Произведение $a_{нов}×n_{элнов}$	*k*d при произведении $a_{СТ} × n_{элст}$													
1	1	1,41	1,73	2	2,24	2,45	2,83	3	–	–	–	–	–	–
2	0,71	1	1,22	1,41	1 58	1,73	2	2,12	2,24	2,45	2,74	2,83	3	–
3	0,58	0,82	1	1,16	1,29	1,41	1,64	1,73	1,83	2	2,24	2,31	2,45	2,58
4	0,5	0,71	0,87	1	1,12	1,23	1,41	1,5	1,58	1,73	1,94	2	2,12	2,24
5	0,45	0,63	0,78	0,9	1	1,1	1,27	1,34	1,41	1,55	1,73	1,79	1,9	2
6	0,41	0,58	0,71	0,82	0,91	1	1,16	1,22	1,29	1,41	1,58	1,63	1,73	1,83
8	–	0,5	0,61	0,71	0,79	0,87	1	1,06	1,12	1,22	1,37	1,41	1,5	1,58
9	–	0,47	0,58	0,67	0,75	0,82	0,94	1	1,05	1,16	1,29	1,33	1,41	1,49
10	–	–	0,55	0,63	0,71	0,78	0,9	0,95	1	1,1	1,22	1,27	1,34	1,41
12	–	–	0,5	0,58	0,65	0,71	0,82	0,87	0,91	2	1,12	1,16	1,22	1,29
15	–	–	–	0,52	0,58	0,65	0,73	0,78	0,82	0,9	1	1,03	1,1	1,16
16	–	–	–	0,5	0,56	0,61	0,71	0,75	0,79	0,87	0,97	1	1,06	1,12
18	–	–	–	–	0,53	0,58	0,67	0,71	0,75	0,82	0,91	0,94	1	1,05
20	–	–	–	–	0,5	0,55	0,63	0,67	0,71	0,78	0,87	0,9	0,95	1

Таблица 5. Диаметры проводов всыпных обмоток асинхронных двигателей.

Наружный диаметр статора, *мм.*	Диаметр провода без изоляции, *мм.*
До 150	0,49–1,25
150–250	0,67–1,56
250–350	1–1,62
350–500	1,16–1,95

Таблица 6. Значение электромагнитных нагрузок для асинхронных двигателей.

Наименование	Единица измерения	Мощность, *кВт*		
		до 1	1–10	10–100
Индукция в воздушном зазоре *Bδ*	*Тл*	0,3 – 0,6	0,6 – 0,7	0,7 – 0,9
		0,4 – 0,76*	0,7 – 0,71*	0,76 – 0,9*
Индукция в спинке статора *Bc*	*Тл*	1,1 – 1,5	1,2 – 1,6	1,3 – 1,6
		1,2 – 1,6*	1,3 – 1,7*	1,4 – 1,7*
Плотность тока в обмотке статора δ	$а/мм^2$	6 – 8	5 – 6	4 – 5,5
		7 – 8,5*	6,5 – 8*	4 – 6,5*

* Данные для двигателей серий 4А.

Таблица 7. Обмоточные коэффициенты трехфазных двухслойных обмоток.

Число пазов на полюс и фазу q	k_W при шаге обмотки по пазам										
	1–4	1–5	1–6	1–7	1–8	1–9	1–10	1–11	1–12	1–13	1–14
1	1	0,866	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1,5	0,833	0,945	0,945	–	–	–	–	–	–	–	–
2	–	0,836	0,933	0,966	–	–	–	–	–	–	–
2,25	–	–	0,877	0,941	0,954	0,915	–	–	–	–	–
2,5	–	–	0,827	0,907	0,950	0,950	–	–	–	–	–
3	–	–	–	0,831	0,902	0,945	0,960	–	–	–	–
3,5	–	–	–	–	0,831	0,884	0,930	0,953	0,953	–	–
4	–	–	–	–	–	0,831	0,885	0,926	0,950	0,958	–
4,5	–	–	–	–	–	–	0,927	0,877	0,916	0,940	0,954
5	–	–	–	–	–	–	–	0,829	0,875	0,910	0,935
5,5	–	–	–	–	–	–	–	–	0,827	0,869	0,902
6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,828	0,866

Таблица 8. Число параллельных ветвей в обмотке статора.

Тип обмотки	Число полюсов $2p$					
	2	4	6	8	10	12
Двухслойная	1	1; 2	1; 2; 3	1; 2; 4	1; 2; 5	1; 2; 3; 4; 6
Однослойная	1	1; 2	1; 3	1; 2; 4	1; 5	1; 2; 3; 6

Таблица 9. Коэффициент заполнения паза медью.

Форма паза	Тип обмотки	Коэффициент заполнения kм
Трапецевидный	Однослойная	0,36–0,43
	Двухслойная	0,30–0,40
Грушевидный	Однослойная	0,42–0,50
	Двухслойная	0,36–0,43

Таблица 10. Кпд η и cos φ асинхронных трехфазных двигателей защищенного исполнения с короткозамкнутым ротором.

Мощность *кВт*	η				cos φ			
	при частоте вращения (синхронной), *об. мин..*							
	3000	1500	1000	750	3000	1500	1000	750
0,6	–	0,74	–	–	–	0,76	–	–
1	0,79	0,785	0,77	–	0,86	0,79	0,72	–
1,7	0,81	0,81	0,79	–	0,87	0,82	0,75	–
2,8	0,84	0,83	0,82	–	0,88	0,84	0,78	–
4,5	0,85	0,85	0,84	0,83	0,88	0,85	0,80	0,76
7	0,87	0,87	0,86	0,85	0,89	0,86	0,81	0,78
10	0,875	0,875	0,865	0,85	0,89	0,88	0,82	0,80
14	0,875	0,88	0,87	0,87	0,89	0,88	0,83	0,81
20	0,885	0,89	0,88	0,88	0,90	0,88	0,84	0,82
28	0,89	0,90	0,89	0,89	0,90	0,88	0,85	0,83
40	0,90	0,90	0,90	0,90	0,91	0,89	0,86	0,84
55	0,90	0,91	0,91	0,91	0,91	0,89	0,87	0,84
75	0,91	0,915	0,92	–	0,91	0,89	0,87	–
100	0,915	0,92	–	–	0,92	0,89	–	–

Таблица 11. Рекомендуемые числа пазов для короткозамкнутых двигателей.

Число полюсов $2p$	Число пазов статора z_1	Число пазов ротора z_2	
		прямые пазы	скошенные пазы
2	18	–	26
	24	[16], 32	(18), (30), 31, 33 34, 35
	30	22, 38	(18), 20, 21, 23, (24), 37, 39, 40
	36	26, 28, 44, 46	25, 27, 29, 43, 45 47
	42	32, 34, 50, 52	–
	48	38, 40, 56, 58	59
4	24	[32]	16, [20], 30, 33, 34, 35, 36
	36	26, 44, 46	(24), 27, 28, 30, [32], 45, 48
	42	(34), (50), 52, 54	(33), 34, [38], (51), 53
	48	34, 38, 56, 58, 62, 64	(36), (39), 40, [44], 57, 59
	60	50, 52, 68, 70, 74	48, 49, 51, 56, 64, 69, 71
	72	62, 64, 80, 82, 85	61, 63, 68, 76, 81, 83
6	36	26, 42, [48]	47, 49, 50
	54	44, 64, 66, 68	42, 43, 65, 67
	72	56, 58, 62, 82, 84, 86, 88	57, 59, 60, 61, 83, 85, 87
	90	74, 76, 78, 80, 100, 102, 104	55, 77, 79, 101, 103, 105
8	48	34, 62, [64]	35, 61, 63, 65
	72	58, 86, 88, 90	56, 57, 59, 85, 87, 89
	84	66, (68), 70 , 98, 100, 102, 104	(68), (69), (71), (97), 99), (101)
	96	78, 82, 110. 112, 114	79, 80, 81, 83, 109, 111, 113
10	60	44, 46, 74, 76	57, 63, 77, 78, 79
	90	68, 72, 74, 76, 104, 106, 108, 110, 112, 114	70, 71, 73, 87, 93, 107, 109
	120	86, 88, 92, 94, 96, 102, 104, 106, 142, 144, 134, 138, 140	99, 101, 108, 117, 123, 137, 139

Примечания: Числа пазов, заключенные в круглые скобки, дают ухудшенные пусковые характеристики. Числа пазов, заключенные в квадратные скобки, не следует применять для машин, работающих в режиме тормоза.

Таблица 12. Технические характеристики некоторых конденсаторов.

Тип конденсатора	емкость, *мкФ*	номинальное напряжение, *в*
МБГО	1	400, 500
	2	160, 300, 400, 500
	4	160, 300, 400
	10, 20	160, 300, 400, 500
	30	160, 300
МБГ 4	0,5: 1; 2; 4; 10	250, 500
К73П–2	1; 2; 4; 6; 8; 10	400, 630
К75–12	1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10	400
К75–12	1, 2, 4, 6, 8	630
К75–40	4, 6, 8, 10, 40, 60, 80, 100	750

Таблица 13. Произведение cos φ на кпд.

Мощность двигателя, *Вт*	cos φ × η при $2p = 2$	cos φ × η при $2p = 4$	Мощность двигателя, *Вт*	cos φ × η при $2p = 2$	cos φ × η при $2p = 4$
25	0,29	0,18	250	0,47	0,39
50	0,315	0,22	300	0,40	0,415
75	0,34	0,26	350	0,505	0,435
100	0,365	0,295	400	0,52	0,45
150	0,42	0,33	450	0,53	0,46
200	0,45	0,36	500	0,53	0,46